

交流雑音除去における高調波の個別処理による計算量削減

情報科学科 深田 夏帆

指導教員：戸田 尚宏

1 背景と目的

本研究室では、適応フィルタを用いた交流ノイズキャンセラを雑音除去エンジン [1] として搭載した ERG 検査装置の市販に至っている。これを臨床に用いることで高い診断結果が得られることも報告されている [2]。しかし、増幅回路中に用いられているアンチエリアジングフィルタが高価で、規模の小さな医療機関や需要の高い海外の地域において普及の妨げとなっており、コストを下げるのが急務となっている。

そこで、低次のローパスフィルタを代わりに用い、ソフトウェアで高調波を作成する、コストダウンを重視した方法が提案された [3] が、医療現場からの要請でさらに高いサンプリング周波数での測定が必要なため、計算量の削減が新たに課題となってきた。本研究では、基本周波数の分析に基づく先行研究の方法において、高調波を作成し、各高調波の交流雑音を個別に扱える利点が活かしていない点を指摘し、これを利用した新しい適応アルゴリズムを提案し、計算量削減の効果を検証する。

2 適応フィルタによる雑音除去

適応フィルタを用いたノイズキャンセラには、離散時刻 k において生体電気信号など所望される信号 $s(k)$ に、雑音の加わった主入力信号 $d(k)$ と、雑音源 (商用交流電源) から取得した参照信号 $u(k)$ が入力される。参照信号に式 (1) のようにフィルタリングし、主入力信号から雑音を除去して $e(k)$ を出力する。ここで $h_l(k)$ は適応アルゴリズムにより更新されるフィルタ係数、 q はフィルタ次数であり、高調波数 (基本周期を含む) を p とすると $q = 2p$ である。

$$e(k) = d(k) - \sum_{l=0}^{q-1} h_l(k)u(k-l) \quad (1)$$

3 個別高調波法

1 つの正弦波による交流雑音は 2 つの係数をもつ FIR フィルタで除去できる。すなわち各周波数に対して個別にフィルタを対応させることで、サイズの大きな連立方程式の求解から、2 元連立方程式 p 回だけの求解へと計算量を削減できるはずである。そこで本研究では高調波を個別処理できることを用いてフィルタ係数を更新する適応アルゴリズムを個別高調波法と名付け、計算量削減のための方法として提案する。

現行の装置には指数重み付き適応アルゴリズム (以下 AWH アルゴリズム) が用いられ、現時刻までの誤差の二乗和を最小化する連立方程式を直接解き、逐次的にフィルタ係数を求めている。このアルゴリズムの計算量は高調波数 p に対して $O(p^3)$ で、RLS アルゴリズムでも $O(p^2)$ である。LMS アルゴリズムでは $O(p)$ であるが収束が遅い。ここでフィルタ係数の数が 2 で限定される個別高調波法では、各高調波に対する処理が $2^3 (= 8)$ 回程度であり、全体ではその高調波数倍、すなわち $O(p)$ である。フィルタ係数の更新式は

$$h_k = R_k^{-1} z_k \quad (2)$$

であり、 R_k は $u(k)$ の 2 行 2 列の自己相関行列で、 z_k はフィルタ係数 h_k 、 $d(k)$ 、 $u(k)$ の相互相関である。

4 シミュレーションによる評価

計算効率化と妥当性の観点から評価を行う。計算効率化は、同一信号に対し、高調波数 p における CPU 計算時間を各アルゴリズムで測定する。妥当性は、フィルタ出力結果後半部分のパワースペクトルを用い、適応フィルタを用いて交流雑音除去を行う際にノッチ (急峻な切れ込み) が生じる [1] ことで正しく機能していると評価する。パワースペクトルは各セグメントのピリオドグラムの平均として算出した。

ここでは医療検査で必要となる 2kHz 程度までの交流雑音を除去することを想定し、その高調波数 34 までの計算時間を計測した。 $s(k)$ に分散 1 平均 0 の正規白色信号、 $u(k)$ に個別処理して得られた高調波の交流雑音を用いる。尚、データ長は 16 万点である。図 1 にその結果を示した。提案法である個別高調波法は p とともに直線的な時間増大を示しており、他の 2 つの方法より、 p が大きい程高速である。また、低次における他の方法との逆転もない。RLS アルゴリズムでは 14~16 次でデータ抜けがあるが、これはアルゴリズムの発散によるものであり、提案法はこうした問題も起きない。スペクトル上の評価においても、提案法が正しく機能していることを確認した。

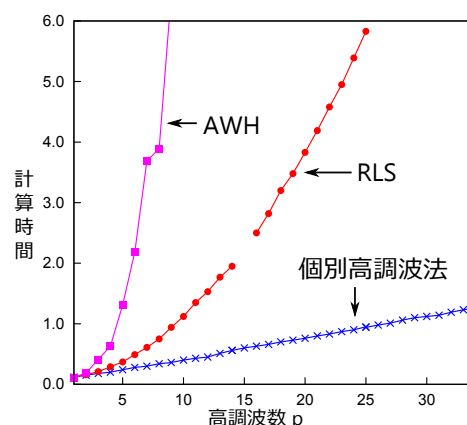


図 1 時間計測結果

表 1 数値実験結果

	個別高調波法	AWH	RLS
計算量		×	
計算妥当性			×

5 結論及び今後

数値実験の結果は表 1 にまとめられる。すなわち、必要となるサンプリング周波数で計算量が少なく、妥当な計算結果を与えるのは提案した個別高調波法のみであると言える。今後は個別高調波の効率的な生成法の検討が必要である。

参考文献

- [1] 戸田尚宏：電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J94-D, No.10, pp.1685-1695, 2011.
- [2] 大高康博 他：眼科臨床紀要 4, 1064-1067, 2011.
- [3] 大橋裕史：愛知県立大学 卒業論文, 2013.